

Д. В. Ягнин, А. М. Дубинин

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

yagnin@mail.ru

ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОР ДЛЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТОВ

Целью исследования является решение проблемы сохранения состояния вечномерзлых грунтов в условиях северного строительства. В работе кратко изложен принцип работы термостабилизатора. Приведен расчет распределения температуры по радиусу ребра. Рассмотрен расчет длины подземной части термостабилизатора. Получено время превращения влажного грунта в лед.

Ключевые слова: термостабилизация грунта, температурные поля, льдогрунтовый массив, мерзлый грунт, хладон.

D. V. Yagnin, A. M. Dubinin

Ural Federal University, Ekaterinburg

THERMOSTABILIZER FOR GROUND FREEZING

The aim of the study is to solve the problem of preserving the state of permafrost soils in the conditions of northern construction. The paper outlines the brief principle of operation of the heat stabilizer. The calculation of temperature distribution along the edge radius is given. The paper considers the calculation of the length of the underground part of the heat stabilizer. The time of transformation of wet soil into ice obtained.

Keywords: Thermostabilization of soil, temperature fields, thermopile, frozen soil, Freon.

Главным направлением в практике северного строительства является сохранение состояния мерзлых грунтов на территории деятельности человека. На севере России сосредоточены большие объемы природных ресурсов (уголь, торф, нефть, газ). Наиболее эффективным в этом плане способом поддержания и, при

необходимости, усиления мерзлоты грунта является применение термостабилизаторов. Данные охлаждающие устройства необходимы для повышения несущей способности грунта путем его охлаждения и замораживания [1].

Термостабилизаторы необходимы для замораживания талых и охлаждения многолетнемерзлых грунтов в болотистой местности или на пучинистых грунтах. Они представляют собой холодильные устройства, которые работают за счет низких температур воздуха в зимний период, аккумулируя холод в грунте на летний период. За счет постоянной циркуляции хладагента термостабилизаторы низкочастотны. Часто охлаждающие устройства применяют в качестве средства при морозном пучении. Для обеспечения устойчивости наземных трубопроводов применяют методы свайного строительства [2, 3].

Таким образом, термостабилизатор – это трубчатая холодильная машина бескомпрессорного типа, использующая конвекционные свойства хладагента при разнице в температуре между грунтом и воздухом снаружи. При низких температурах хладагент конденсируется в радиаторе-конденсаторе, который расположен в верхней части устройства. Затем хладагент стекает в испарительную часть, находящуюся внизу, забирая тепло грунта и охлаждая его до температуры ниже температуры замерзания. При этом хладагент испаряется и попадает в верхнюю часть термостабилизатора. Схема стандартного охлаждающего устройства приведена на рисунке.

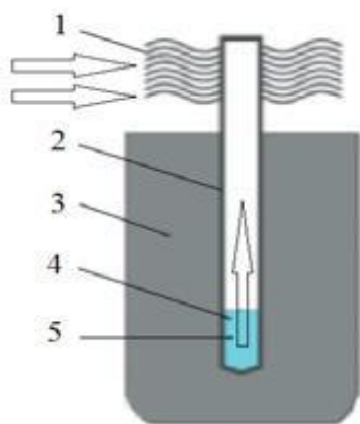


Схема термостабилизатора грунта:
1 – воздушный конденсатор; 2 – испаритель;
3 – грунт; 4 – хладагент; 5 – тепловой поток от
охлаждаемого грунта

Расчет распределения температуры по радиусу ребра выполнен по уравнению (1)

$$t(r) = \bar{t}_h - (\bar{t}_h - t_f) \frac{I_0(mr) \cdot K_1(mr_2) + K_0(mr) \cdot I_1(mr_2)}{I_0(mr_1) \cdot K_1(mr_2) + K_0(mr_1) \cdot I_1(mr_2)}, \quad (1)$$

где $I_0(mr)$, $I_0(mr_1)$, $I_1(mr_2)$ – модифицированные функции Бесселя нулевого и первого порядка от аргумента $m \cdot r_1$ или $m \cdot r_2$; $K_1(mr_1)$, $K_1(mr_2)$, $K_0(mr)$ – модифицированные функции Бесселя (Ганкеля); \bar{t}_h – температура наружного воздуха; t_f – температура стенки трубы.

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Результаты расчета распределения температуры по радиусу ребра

r , мм	26,5	28	33	43	51,5
$I_0(27,5 \cdot \frac{r}{10^3})$	1,0984	1,1497	1,2130	1,3796	1,5713
$K_0(27,5 \cdot \frac{r}{10^3})$	0,4788	0,3827	0,3099	0,2084	0,151
$t(r)$	-7	-7,42	-8,6	-9,9	-10,2

Расчет длины подземной рабочей части термостабилизатора выполняется следующим образом. Максимальная тепловая мощность, Вт, поступающая из грунта в подземную часть термостабилизатора, длиной h и диаметром $d_2 = 38$ мм, в первый час работы термостабилизатора – по уравнению (2) ($\tau = 13600$ с) [4]:

$$Q_1^{\max} = \pi d_2 \cdot \lambda_{\text{л}}^{11} \cdot h^* \frac{dt}{d\xi} = \frac{\pi d_2 \cdot \lambda_{\text{л}}^{11} \cdot h^* (t_{\text{фр}} - t_{\text{F}})}{\sqrt{\frac{4 \cdot \lambda_{\text{л}}^{11} p_{\text{л}}^{11} \cdot C_{\text{л}}^{11} (t_{\text{фр}} - t_{\text{F}}) \tau}{p_{\text{гр}}^1 \cdot C_{\text{гр}}^1 (w^* p_{\text{гр}}^1) v_{\text{л}}^{11}}}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{фр}}$ – температура фронта замерзания воды, равна 0 °С; d_2 – внутренний диаметр трубы; $\lambda_{\text{л}}^{11}$ – удельная теплопроводность льда, 2,25 Вт/(м·К); h – высота подземной части термостабилизатора; t_{F} – температура стенки трубы; $p_{\text{л}}^{11}$ – плотность льда (принята 900 кг/м³); $C_{\text{л}}^{11}$ – удельная теплоемкость льда, 2,1·10³ Дж (кг·К); τ – время, секунды; $p_{\text{гр}}^1$ – плотность грунта, 1500 кг/м³; $v_{\text{л}}^{11}$ – теплота замерзания воды в грунте, 334·10³, Дж/кг; w – влажность грунта.

При стационарном режиме $Q_1^{\max} = \sum_1^2 Q_1$.

Отсюда определяется высота, м, подземной части термостабилизатора

$$h^* = \frac{\sum_{i=1}^2 Q_i}{33} = 9 \quad (3)$$

Время полного превращения влажного грунта в лед, с, в радиусе 1,5 м от подземной части термостабилизатора:

$$\tau = \frac{\xi^2 p_{\text{гр}}^1 \cdot C_{\text{гр}}^1 \cdot (w \cdot p_{\text{гр}}^1) \cdot v_{\text{л}}^{11}}{\lambda_{\text{л}}^{11} \cdot 4 p_{\text{л}}^{11} \cdot C_{\text{л}}^{11} (t_{\text{фр}} - t_{\text{F}})}, \quad (4)$$

где обозначения и их значения соответствуют приведенным в (2).

Выводы:

1. Ребро работает эффективно благодаря достаточно большой толщине $S_p = 2$ мм.

2. Температура на поверхности ребра на расстоянии 25 мм от стенки трубы далека от температуры наружного воздуха и равна $-10,2$ °С.

3. Нет необходимости теплоизолировать подземную часть термостабилизатора.

4. Рассчитано время полного превращения влажного грунта в лед.

Список использованных источников

1. Bayasan R. M. The experience of thermalstabilization technology application for engineering protection of bases of structures in permafrost regions / R. M. Bayasan, T. V. Bayasan, A. D. Lobanov, G. P. Pustovoit // Инженерная защита территории и безопасность населения: роль и задачи геоэкологии, инженерной геологии и изысканий : материалы международной научной конференции МАИГ (Москва, 6–8 сентября 2011 г.). М. : МАИГ, 2011. С. 58.
2. Долгих Г. М. Практический опыт строительства оснований зданий и сооружений в условиях ВМГ / Г. М. Долгих, С. Н. Окунев, Ю. Э. Кинцлер. Тюмень : ООО НПО «Фундаментстройаркос», 2002. 156 с.
3. Яковлев Р. Н. Универсальный фундамент. Технология ТИСЭ / Р. Н. Яковлев. М. : Аделант, 2006. 271 с.
4. Шорин С. Н. Теплопередача. М. : Высшая школа, 1964. 490 с.